



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **11205249 A**

(43) Date of publication of application: **30.07.99**

(51) Int. Cl.

H04B 10/28

H04B 10/26

H04B 10/14

H04B 10/04

H04B 10/06

H03F 1/30

H03F 3/08

H03G 3/30

(21) Application number: **10014728**

(22) Date of filing: **12.01.98**

(71) Applicant: **OKI TEC:KK OKI ELECTRIC IND CO LTD**

(72) Inventor: **SUDO MAKOTO
MAEDA MASAOKI**

**(54) BIAS VOLTAGE CONTROL CIRCUIT FOR
AVALANCHE PHOTO DIODE AND ITS
ADJUSTMENT METHOD**

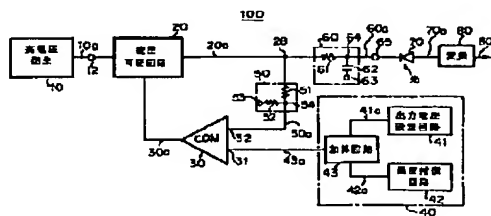
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To avoid the effect of fluctuation in ambient temperature or a power supply voltage on a bias voltage of an APD.

SOLUTION: A reference voltage generating circuit 40 generates a reference voltage by taking notice of setting of a voltage to obtain an optimum amplification factor to a terminal 28 and of a temperature gradient of a breakdown voltage of an APD 10 and provides a reference voltage 43a to an input 31 of a voltage comparator 30. A setting circuit 41, provides an output of a prescribed voltage 41a to set a voltage at the terminal 28 at which an optimum amplification factor is obtained from the APD 70 and gives the voltage 41 to an adder circuit 43. A temperature compensation circuit 42 provides an output of a voltage 42a corresponding to a temperature gradient of the breakdown voltage of the APD 10 to the adder 43. The temperature gradient represents a change in the breakdown voltage with respect to a change in temperature. The adder circuit 43 adds the prescribed voltage 41a to the voltage 42a of the temperature gradient and gives the sum to the input 31 of the voltage comparator 30 as a reference voltage

43a. The voltage comparator 30 obtains a difference between the voltage 50a and the reference voltage 43a and provides an output of it as a voltage control signal 30a.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO



(19)日本国特許庁 (J P)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-205249

(43)公開日 平成11年(1999)7月30日

(51)Int. Cl.⁶

識別記号

F I

H04B 10/28

H04B 9/00

Y

10/26

H03F 1/30

A

10/14

3/08

10/04

H03G 3/30

B

10/06

H04B 9/00

S

審査請求 未請求 請求項の数15 F D (全14頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平10-14728

(71)出願人 593065844

株式会社沖テック

(22)出願日 平成10年(1998)1月12日

愛知県名古屋市西区上名古屋三丁目25番28号 第7猪村ビル

(71)出願人 000000295

沖電気工業株式会社

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

(72)発明者 須藤 誠

愛知県名古屋市中区丸ノ内3丁目22番21号
株式会社沖テック内

(72)発明者 前田 正明

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気
工業株式会社内

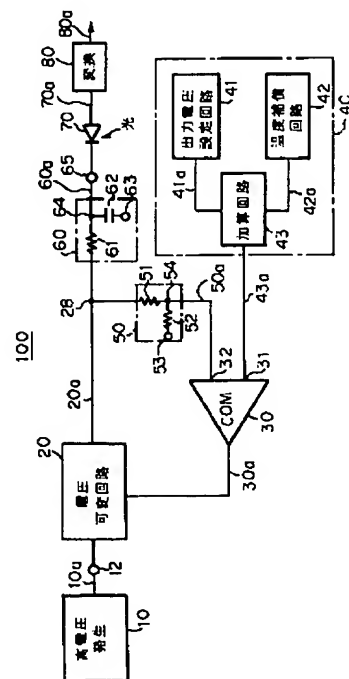
(74)代理人 弁理士 香取 孝雄

(54)【発明の名称】アバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路およびその調整方法

(57)【要約】

【課題】 周囲温度や電源電圧の変動があってもその影響をAPDのバイアス電圧に与えないようにする。

【解決手段】 基準電圧発生回路40は、端子28に対して最適増倍率を得るための電圧の設定とAPD 70のブレークダウン電圧の温度傾斜に注目して基準電圧を発生し、電圧比較器30の入力31に対する基準電圧43aを与える。設定回路41は、端子28の電圧をAPD 70に対して最適増倍率を得ることができる電圧に設定するための所定の電圧41aを出力し、加算回路43に与える。温度補償回路42は、APD 70のブレークダウン電圧の温度傾斜に当たる電圧42aを出力し、加算回路43に与える。この温度傾斜は、温度の変化に対するブレークダウン電圧の変化を表す。加算回路43は、所定の電圧41aと温度傾斜に当たる電圧42aとを加算し、基準電圧43aとして電圧比較器30の入力31に与える。電圧比較器30は、電圧50aと基準電圧43aとの電圧差を求めてこれを電圧制御信号30aとして出力する。



APD用電圧制御回路の構成例

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入力直流電圧を電圧制御信号によって電圧を制御し出力する電圧可変手段を含み、該出力電圧をアバランシェフォトダイオードに印加するバイアス電圧として制御し出力端子から出力するアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路において、該回路は、

前記アバランシェフォトダイオードの逆方向の降伏電圧の温度傾斜に当たる電圧を出力する温度傾斜電圧出力手段と、

前記出力端子の電圧を所定の電圧に設定するための設定電圧を出力する設定電圧出力手段と、

前記温度傾斜に当たる電圧と前記設定電圧とから基準電圧を設定し、該基準電圧と前記出力端子から抵抗を介して与えられる電圧とが等しくなるように前記電圧制御信号を生成し、前記電圧可変手段に対して与える比較制御手段とを含み、

前記電圧可変手段は、デジタル電圧制御信号によってデジタル的に抵抗値を可変し設定することができるデジタル可変抵抗手段を含み、前記電圧制御信号を前記デジタル電圧制御信号に変換し、該デジタル電圧制御信号によって、前記デジタル可変抵抗手段の抵抗値を設定し、前記入力直流電圧を制御することを特徴とするアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路。

【請求項 2】 入力端子に与えられる入力直流電圧を電圧制御信号に応じた電圧に可変制御し出力する電圧可変手段を含み、該出力電圧をアバランシェフォトダイオードに印加するバイアス電圧として制御し出力端子から出力するアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路において、該回路は、

前記アバランシェフォトダイオードの逆方向の降伏電圧の温度傾斜に当たる電圧を出力する温度傾斜電圧出力手段と、

前記出力端子の電圧を所定の電圧に設定するための設定電圧を出力する設定電圧出力手段と、

前記温度傾斜に当たる電圧と前記設定電圧とから基準電圧を設定し、該基準電圧と前記出力端子から減衰抵抗を介して与えられる電圧とが等しくなるように前記電圧制御信号を生成し、前記電圧可変手段に対して与える比較制御手段とを含み、

前記電圧可変手段は、前記入力端子に直列に接続された第 1 の抵抗と、該第 1 の抵抗と直列に接続された第 2 の抵抗と、該第 2 の抵抗に接続され前記電圧制御信号によって電流の制御を行うためのトランジスタとを含む電流制御部を含み、前記電圧制御信号によって、前記トランジスタが前記第 1 の抵抗および第 2 の抵抗に流れる電流を制御し、前記第 1 の抵抗と第 2 の抵抗との間の接続点から前記出力端子への電圧を取り出すことを特徴とするアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 に記載の回路において、前記比較制御手段は、電圧比較器によって前記基準電圧と前記出力端子に設定されている電圧とを比較し制御をすることを特徴とするアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路。

【請求項 4】 入力端子に与えられる入力直流電圧を電圧制御信号に応じた電圧に可変制御し出力する電圧可変手段を含み、該出力電圧をアバランシェフォトダイオードに印加するバイアス電圧として制御し出力端子から出力するアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路において、該回路は、

前記出力端子から第 1 の抵抗を介して電流を引き込む制御を行い、前記出力端子の電圧を所定の電圧に設定する出力電圧設定手段と、

前記出力端子から前記第 1 の抵抗を介して電流を引き込む制御を行い、前記アバランシェフォトダイオードの逆方向の降伏電圧の温度傾斜に当たる電流を引き込む温度傾斜電流引き込み手段と、

所定の基準電圧を設定し、該基準電圧と前記出力端子から前記第 1 の抵抗を介して与えられる電圧とが等しくなるように前記電圧制御信号を生成し、前記電圧可変手段に対して与える比較制御手段とを含むことを特徴とするアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路。

【請求項 5】 請求項 4 に記載の回路において、前記出力電圧設定手段は、

前記第 1 の抵抗に接続され引き込み電流の制御を行うための第 1 のトランジスタと、

該第 1 のトランジスタに接続され引き込み電流の調整を行う第 1 の可変抵抗とを含み、

所定の電圧を前記第 1 のトランジスタに与えて動作させ、前記第 1 の可変抵抗の抵抗値を調整して引き込み電流を制御し、前記出力端子の電圧を所定の値に設定することを特徴とするアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路。

【請求項 6】 請求項 4 または 5 に記載の回路において、前記温度傾斜電流引き込み手段は、

周囲温度を検出し検出信号を出力する温度センサと、

前記第 1 の抵抗に接続され、引き込み電流の制御を行うための第 2 のトランジスタと、

該第 2 のトランジスタに接続され、引き込み電流の調整を行う第 2 の可変抵抗とを含み、

前記検出信号を前記第 2 のトランジスタに与えて動作させ、前記第 2 の可変抵抗の抵抗値を調整して引き込み電流を制御することを特徴とするアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路。

【請求項 7】 請求項 4、5 または 6 に記載の回路において、

前記電圧可変手段は、前記入力端子に直列に接続された第 2 の抵抗と、該第 2 の抵抗と直列に接続された第 3 の

抵抗と、該第 3 の抵抗に接続され、前記電圧制御信号によって電流の制御を行うための第 3 のトランジスタとを含む電流制御部を含み、

前記電圧制御信号によって、前記第 3 のトランジスタが前記第 2 の抵抗および第 3 の抵抗に流れる電流を制御し、前記第 2 の抵抗と第 3 の抵抗との間の接続点から前記出力端子への電圧を取り出すことを特徴とするアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路。

【請求項 8】 請求項 4、5 または 6 に記載の回路において、前記電圧可変手段は、デジタル電圧制御信号によってデジタル的に抵抗値を可変し設定することができるデジタル可変抵抗手段を含み、前記電圧制御信号を前記デジタル電圧制御信号に変換し、該デジタル電圧制御信号によって、前記デジタル可変抵抗手段の抵抗値を設定し、前記入力直流電圧を制御することを特徴とするアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路。

【請求項 9】 請求項 4 ないし 8 のいずれかに記載の回路において、前記比較制御手段は、電圧比較器によって前記基準電圧と前記出力端子から前記第 1 の抵抗を介して与えられる電圧とを比較し制御をすることを特徴とするアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路。

【請求項 10】 請求項 1 ないし 9 のいずれかに記載の回路において、該回路は、前記出力端子に接続されたローパスフィルタ手段を含み、該ローパスフィルタ手段は、前記出力端子に出力されている電圧に含まれる低域周波数成分を通過させ高域周波数成分を除去した電圧を出力し、該ローパスフィルタ手段の出力電圧を前記アバランシェフォトダイオード用のバイアス電圧とすることを特徴とするアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路。

【請求項 11】 入力端子に与えられる入力直流電圧を電圧制御信号に応じた電圧に可変制御し出力する電圧可変手段を含み、該出力電圧をアバランシェフォトダイオードに印加するバイアス電圧として制御し出力端子から出力するアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路であって、

前記出力端子から第 1 の抵抗を介して電流を引き込む制御を行い、前記出力端子の電圧を所定の電圧に設定する出力電圧設定手段と、

前記出力端子から前記第 1 の抵抗を介して電流を引き込む制御を行い、前記アバランシェフォトダイオードの逆方向の降伏電圧の温度傾斜に当たる電流を引き込む温度傾斜電流引き込み手段と、

所定の基準電圧を設定し、該基準電圧と前記出力端子から前記第 1 の抵抗を介して与えられる電圧とが等しくなるように前記電圧制御信号を生成し、前記電圧可変手段に対して与える比較制御手段とを含むアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路において、温度補償の調整と最適増倍率への調整とを行う調整方法にお

て、該方法は、

使用するアバランシェフォトダイオードの逆方向の降伏電圧の温度傾斜と最適増倍率とを測定する特性測定工程と、

前記出力端子に使用するアバランシェフォトダイオードを接続し、前記入力端子に所定の直流電圧を印加する電圧印加工程と、

前記温度傾斜電流引き込み手段への電流の引き込みを停止させ、この状態で前記出力電圧設定手段によって前記出力端子の電圧を所定の値に設定する出力電圧設定工程と、

前記温度傾斜電流引き込み手段への電流の引き込みを行い、前記温度傾斜に当たる電流の引き込みを行う温度傾斜設定工程と、

前記出力電圧設定手段によって、前記出力端子の電圧を前記最適増倍率に対応する電圧に調整する電圧調整工程とを含むことを特徴とするアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路の調整方法。

【請求項 12】 請求項 11 に記載の方法において、

20 前記出力電圧設定手段は、前記第 1 の抵抗に接続され引き込み電流の制御を行うための第 1 のトランジスタと、該第 1 のトランジスタに接続され引き込み電流の調整を行う第 1 の可変抵抗とを含み、所定の電圧を前記第 1 のトランジスタに与えて動作させ、

前記出力電圧設定工程では、前記第 1 の可変抵抗の抵抗値を調整して引き込み電流を制御し、前記出力端子の電圧を所定の値に設定することを特徴とするアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路の調整方法。

30 【請求項 13】 請求項 11 または 12 に記載の方法において、

前記温度傾斜電流引き込み手段は、周囲温度を検出し検出信号を出力する温度センサと、前記第 1 の抵抗に接続され、引き込み電流の制御を行うための第 2 のトランジスタと、該第 2 のトランジスタに接続され、引き込み電流の調整を行う第 2 の可変抵抗とを含み、前記検出信号を前記第 2 のトランジスタに与えて動作させ、

40 前記温度傾斜設定工程では、前記第 2 の可変抵抗の抵抗値を調整して引き込み電流を制御することを特徴とするアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路の調整方法。

【請求項 14】 請求項 11、12 または 13 に記載の方法において、

前記電圧可変手段は、前記入力端子に直列に接続された第 2 の抵抗と、該第 2 の抵抗と直列に接続された第 3 の抵抗と、該第 3 の抵抗に接続され、前記電圧制御信号によって電流の制御を行うための第 3 のトランジスタとを含む電流制御部を含み、

前記電圧制御信号によって、前記第 3 のトランジスタが前記第 2 の抵抗および第 3 の抵抗に流れる電流を制御し、前記第 2 の抵抗と第 3 の抵抗との間の接続点から前

記出力端子への電圧を取り出すことを特徴とするアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路の調整方法。

【請求項15】 請求項11、12または13に記載の方法において、前記電圧可変手段は、デジタル電圧制御信号によってデジタル的に抵抗値を可変し設定することができるデジタル可変抵抗手段を含み、前記電圧制御信号を前記デジタル電圧制御信号に変換し、該デジタル電圧制御信号によって、前記デジタル可変抵抗手段の抵抗値を設定し、前記入力直流電圧を制御することを特徴とするアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路の調整方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、アバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路およびその調整方法に関し、アバランシェフォトダイオード(APD: Avalanche Photodiode)に与えるバイアス電圧の最適制御に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、光通信システムにおいては、受光素子としてのAPDを用いた光／電気変換器が使用されている。このAPDは、信号光電流の増幅作用をもっており、微弱な光信号を扱う光ファイバ通信システムの受光素子としては必要不可欠である。

【0003】また、このAPDの信号光電流の増幅作用は、通常、増倍率Mによって表されている。APDを効率的に動作させて使用するためには、数十V以上の直流バイアス電圧を印加する必要がある。そして、増倍率Mと直流バイアス電圧との間には密接な関係があり、従来、直流バイアス電圧のかけ方として増倍率値一定方式と、増倍率値変動方式とがある。

【0004】増倍率値一定方式は、ツェナーダイオードなどを利用してAPDの直流バイアス電圧を安定化して増倍率Mを一定にしておく方法である。増倍率値変動方式は、広範囲の自動利得制御(Automatic Gain Control: AGC)をかけてAPDの直流バイアス電圧を最適値に制御する方法である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、増倍率値変動方式の場合はAGC増幅器の温度変動や電源変動などの影響によってAPDの増倍率が変動し、信号対雑音比が劣化するという問題がある。さらに、増倍率値変動方式や増倍率値一定方式のいずれの場合でも何らかの手段によって高電圧発生回路として、たとえば、直流電圧(DC)／直流電圧(DC)コンバータ回路や発振器出力信号を昇圧するコッククロフト回路などを制御する必要があったため、高電圧発生回路を制御ループ内に備える必要があった。このため回路規模が大きくなるといった問題もあった。

【0006】さらにまた、APDは、図2に示すように逆方向の降伏電圧(ブレイクダウン電圧)において増倍率が無限に近く高くなるという作用がある。したがって、この電圧以下のバイアス電圧で使用する必要がある。しかもこのブレイクダウン電圧は、図3に示すようにAPDの周囲温度が変化することによっても変化する。このため、APDを動作させるうえでは、周囲温度の変化に対する補償とブレイクダウン電圧以下での最適増倍率に制御することが信号対雑音比を良好にするために非常に重要なことである。

【0007】このようなことから、周囲温度変動や電源電圧の変動があってもその影響をAPDのバイアス電圧に与えないようにし、APDにとって最適な増倍率にバイアス電圧を制御することができ、回路の小型化も図ることができるアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路およびその調整方法の実現が要請されている。

【0008】

【課題を解決するための手段】そこで、本発明のアバランシェフォトダイオード用バイアス電圧制御回路は、入力直流電圧を電圧制御信号によって電圧を制御し出力する電圧可変手段を含み、この出力電圧をAPDに印加するバイアス電圧として制御し出力端子から出力する回路であって、APDの逆方向の降伏電圧の温度傾斜に当たる電圧を出力する温度傾斜電圧出力手段と、出力端子の電圧を所定の電圧に設定するための設定電圧を出力する設定電圧出力手段と、温度傾斜に当たる電圧と設定電圧とから基準電圧を設定し、この基準電圧と出力端子から抵抗を介して与えられる電圧とが等しくなるように電圧制御信号を生成し、電圧可変手段に対して与える比較制御手段とを含み、電圧可変手段は、デジタル電圧制御信号によってデジタル的に抵抗値を可変し設定することができるデジタル可変抵抗手段を含み、電圧制御信号をデジタル電圧制御信号に変換し、このデジタル電圧制御信号によって、デジタル可変抵抗手段の抵抗値を設定し、入力直流電圧を制御する。

【0009】このような構成を採ることで、基準電圧は、出力端子の設定電圧と温度傾斜に当たる電圧とから形成され、この基準電圧と出力端子の電圧とが常に等しくなるように比較制御手段から電圧制御信号が出力される。この電圧制御信号はデジタル信号に変換され、このデジタル信号によってデジタル可変抵抗手段を可変し、精度良く忠実に抵抗値を設定することができる。したがって、出力電圧に対する温度補償を行いながら、最適増倍率に当たる電圧に設定することができ、設定精度も高くなる。

【0010】また、電圧可変手段を、入力端子に直列に接続された第1の抵抗と、この第1の抵抗に直列に接続された第2の抵抗と、この第2の抵抗に接続され、電圧制御信号によって電流の制御を行うためのトランジスタを含む電流制御部を含み、電圧制御信号によって、ト

ランジスタが第 1 の抵抗および第 2 の抵抗に流れる電流を制御し、第 1 の抵抗と第 2 の抵抗との間の接続点から出力端子への電圧を取り出すように構成することで、少ない回路部品点数で構成することができ、回路を小型化することができる。しかも、電圧制御信号の大きさに応じて電流制御を行い出力電圧も忠実に制御することができる。

【0011】さらに、本発明の APD 用バイアス電圧制御回路は、入力端子に与えられる入力直流電圧を電圧制御信号に応じた電圧に可変制御し出力する電圧可変手段を含み、この出力電圧を APD に印加するバイアス電圧として制御し出力端子から出力する回路であって、出力端子から第 1 の抵抗を介して電流を引き込む制御を行い、出力端子の電圧を所定の電圧に設定する出力電圧設定手段と、出力端子から第 1 の抵抗を介して電流を引き込む制御を行い、APD の逆方向の降伏電圧の温度傾斜に当たる電流を引き込む温度傾斜電流引き込み手段と、所定の基準電圧を設定し、この基準電圧と出力端子から第 1 の抵抗を介して与えられる電圧とが等しくなるように電圧制御信号を生成し、電圧可変手段に対して与える比較制御手段とを含む。

【0012】このような構成を採り、APD の最適増倍率に当たる設定電圧分の電流と、APD のブレークダウン電圧の温度傾斜分の電流を出力端子から引き込み制御し、出力電圧の設定と温度補償とを実現する。基準電圧と出力端子の電圧とが常に等しくなるように比較制御手段から電圧制御信号が出力される。この電圧制御信号によって出力端子の電圧が制御されるので、精度良く忠実に設定することができる。

【0013】さらにまた、本発明によれば、入力端子に与えられる入力直流電圧を電圧制御信号に応じた電圧に可変制御し出力する電圧可変手段を含み、この出力電圧を APD に印加するバイアス電圧として制御し出力端子から出力する回路であって、出力端子から第 1 の抵抗を介して電流を引き込む制御を行い、出力端子の電圧を所定の電圧に設定する出力電圧設定手段と、出力端子から第 1 の抵抗を介して電流を引き込む制御を行い、APD の逆方向の降伏電圧の温度傾斜に当たる電流を引き込む温度傾斜電流引き込み手段と、所定の基準電圧を設定し、この基準電圧と出力端子から第 1 の抵抗を介して与えられる電圧とが等しくなるように電圧制御信号を生成し、電圧可変手段に対して与える比較制御手段とを含む APD 用バイアス電圧制御回路において、温度補償の調整と最適増倍率への調整とを行う APD 用バイアス電圧制御回路の調整方法は、使用する APD の逆方向の降伏電圧の温度傾斜と最適増倍率とを測定する特性測定工程と、出力端子に使用する APD を接続し、入力端子に所定の直流電圧を印加する電圧印加工程と、温度傾斜電流引き込み手段への電流の引き込みを停止させ、この状態で出力電圧設定手段によって出力端子の電圧を所定の値に設定する出力

電圧設定工程と、温度傾斜電流引き込み手段への電流の引き込みを行い、温度傾斜に当たる電流の引き込みを行う温度傾斜設定工程と、出力電圧設定手段によって、出力端子の電圧を最適増倍率に対応する電圧に調整する電圧調整工程とを含む。

【0014】このような調整工程を採ることで、温度補償の設定を行うと共に APD を最適増倍率で動作させるための設定を、複雑な調整を行うことなく能率的に調整を精度良く行うことができるので、APD に対するバイアス電圧制御を最適状態で行うことができる。

【0015】

【発明の実施の形態】次に本発明の好適な実施例を図面を用いて説明する。図 1 は、本発明のアバランシェフォトダイオード (APD) 用バイアス電圧制御回路 100 の実施例の概略の回路構成図である (第 1 実施例)。この図の APD 用バイアス電圧制御回路 100 において、高電圧発生回路 10 は、高い直流電圧 (たとえば、数十 V 程度) 10a を出力し入力端子 12 に印加する。電圧可変回路 20 は、入力端子 12 に印加された直流電圧 10a を電圧比較器 30 から出力される電圧制御信号 30a によって対応する直流電圧 20a に可変制御し端子 28 に印加する。

【0016】基準電圧発生回路 40 は、端子 28 に対して最適増倍率を得るための電圧の設定と APD 70 のブレークダウン電圧の温度傾斜に注目して基準電圧を発生し、電圧比較器 30 の入力 31 に対する基準電圧 43a を与える。出力電圧設定回路 41 は、端子 28 の電圧を APD 70 に対して最適増倍率を得ることができる電圧に設定するための所定の電圧 41a を出力し加算回路 43 に与える。温度補償回路 42 は、APD 70 のブレークダウン電圧の温度傾斜 A (V/°C) に当たる電圧 42a を出力し、加算回路 43 に与える。この温度傾斜は、図 3 に示すように、温度の変化に対してブレークダウン電圧がどの程度変化するかを表すものである。加算回路 43 は、前記所定の電圧 41a と前記温度傾斜 A (V/°C) に当たる電圧 42a とを加算し、基準電圧 43a として電圧比較器 30 の入力 31 に与える。

【0017】アッテネータ 50 は、端子 28 に直列に接続された抵抗 51 と、この抵抗 51 に直列に接続された抵抗 52 とから構成され、抵抗 52 の他端は回路の最低電位端子 53 に接続され、抵抗 51 と抵抗 52 との接続点 54 の分圧された電圧 50a を電圧比較器 30 の入力 32 に与える。電圧比較器 30 は、前記電圧 50a と前記基準電圧 43a との電圧差を求めて、この電圧差を電圧制御信号 30a として電圧可変回路 20 に与える。

【0018】ローパスフィルタ回路 60 は、端子 28 に直列に接続された抵抗 61 と、この抵抗 61 に接続されたコンデンサ 62 とから構成され、コンデンサ 62 の他端は回路の最低電位端子 63 に接続されており、抵抗 61 とコンデンサ 62 との接続点 64 からフィルタ出力電圧がバイアス電圧 60a として、低域周波数成分を通過させ高域周波数成分の雑音信号が除去され端子 65 に印加される。

【 0 0 1 9 】 APD 70 は、端子 65 からバイアス電圧 60a が印加されバイアスされ光信号が印加されると動作電流 70a を出力し電流電圧変換増幅回路 80 に与える。電流電圧変換増幅回路 80 は、APD 70 の動作電流 70a を電圧変換するとともに増幅し、検出電圧信号 80a を出力する。

【 0 0 2 0 】 次に、図 1 の回路 100 の動作を説明する。電圧可変回路 20 には高電圧発生回路 10 から高電圧が入力端子 12 を介して与えられる。一方、出力電圧設定回路 41 で端子 28 の電圧を所定の値に設定するための電圧 41a が出力され、加算回路 43 に与えられ、一方、温度補償回路 42 でも APD 70 のブレイクダウン電圧の温度傾斜に当たる電圧 42a が出力され、加算回路 43 に与えられる。

【 0 0 2 1 】 加算回路 43 では、電圧 41a と電圧 42a とが加算され、この加算電圧が基準電圧 43a として電圧比較器 30 の入力 31 に与えられる。電圧比較器 30 の他方の入力 32 には端子 28 の電圧がアッテネータ 50 で減衰された電圧 50a が入力され、基準電圧 43a と電圧比較され、電圧差が電圧制御信号 30a として出力され、電圧可変回路 20 に与えられる。電圧変換回路 20 では、電圧制御信号 30a に応じた出力直流電圧が出力され端子 28 に印加される。端子 28 に印加された直流電圧は、ローパスフィルタ回路 60 で雑音が除去され APD 70 へのバイアス電圧 60a として端子 65 に印加される。

【 0 0 2 2 】 同時に端子 28 の電圧は、アッテネータ 50 で減衰された電圧 50a が電圧比較器 30 の入力 32 に与えられ、他方の入力 31 に与えられている基準電圧 43a と比較され、電圧差に応じた電圧制御信号 30a が出力され電圧可変回路 20 に与えられる。このような電圧制御が、電圧 50a と基準電圧 43a とが同じになるまで行われ、等しくなると、その時点の電圧制御信号 30a が継続して電圧可変回路 20 に与えられ続ける。これによって、端子 28 から出力される電圧が温度補償をされながら最適増倍率に当たるように制御される。

【 0 0 2 3 】 このように構成し動作させることによって、増倍率値変動方式のような AGC 増幅器の温度変動や電源電圧変動によって、APD 70 の増倍率が変動し信号対雑音比が劣化するという問題がおきず、増倍率値一定方式のように DC/DC コンバータや発振器出力を昇圧したりするコッククロフト回路などを制御する必要がないため、高電圧発生回路 10 を制御ループ外に備えることができ、回路規模を小さくすることが可能になる。たとえば、高電圧発生回路 10 としては、比較的回路規模の小さい簡易的な DC/DC コンバータを採用することも可能であり、これによって実装面積を狭くすることができる。また、数十 V 程度の交換機用の直流電源電圧を直接取り込むことも可能で、この場合は、高電圧発生回路 10 は不要になる。

【 0 0 2 4 】 図 4 は、APD 用バイアス電圧制御回路 100A の実施例の回路構成であり、電圧可変回路 20A を具体的にはデジタル可変抵抗器 23 を使用して電圧可変する回路

構成を示す図である（第 2 実施例）。この図において、前述の図 1 の回路 100 と異なるところは、電圧可変回路 20A を具体的に詳細に示しているところである。すなわち、本電圧可変回路 20A のアナログ/デジタル変換回路 22 は、電圧比較器 30 から与えられる電圧制御信号 30a をデジタル電圧制御信号 22a に変換してデジタル可変抵抗回路 23 に与える。

【 0 0 2 5 】 デジタル可変抵抗回路 23 は、デジタル電圧制御信号 22a に対応した抵抗値に設定する。抵抗 21 は、高電圧発生回路 10 からの直流電圧 10a を、デジタル可変抵抗回路 23 で設定されている抵抗との抵抗比によって減衰させ、端子 29 に印加する。端子 29 の電圧は端子 28 にも印加される。このようなデジタル可変抵抗回路 23 は、IC パッケージに集積化されて市販されてもいる。デジタル的に抵抗値をステップ的に可変することができるので、デジタル電圧制御信号 22a の変化に応じて精度良く抵抗値を可変することができる。このため端子 29 における分圧出力電圧もデジタル電圧制御信号 22a の変化に応じて精度良く変えることができる。

【 0 0 2 6 】 なお、高電圧発生回路 10 の出力インピーダンスが高い場合は、抵抗 21 は省略することができる。

【 0 0 2 7 】 次に、図 4 の回路 100A の動作を説明する。電圧可変回路 20A には高電圧発生回路 10 から高電圧が入力端子 12 を介して与えられ、抵抗 21 に印加される。一方、出力電圧設定回路 41 で端子 28 の電圧を所定の値に設定するための電圧 41a が出力されると、加算回路 43 に与えられ、一方、温度補償回路 42 でも APD 70 のブレイクダウン電圧の温度傾斜に当たる電圧 42a が出力され、加算回路 43 に与えられる。

【 0 0 2 8 】 加算回路 43 では、電圧 41a と電圧 42a とが加算され、この加算電圧が基準電圧 43a として電圧比較器 30 の入力 31 に与えられる。電圧比較器 30 の他方の入力 32 には端子 28 の電圧がアッテネータ 50 で減衰された電圧 50a が入力され、基準電圧 43a と電圧比較され、電圧差が電圧制御信号 30a として出力され、電圧可変回路 20A に与えられる。電圧変換回路 20A では、電圧制御信号 30a がデジタル電圧制御信号 22a に変換され、この信号 22a によってデジタル抵抗回路 23 が対応する抵抗値に設定され、抵抗 21 との分圧出力電圧が端子 29 に印加され、さらにこの電圧が端子 28 にも印加される。端子 28 に印加された直流電圧はローパスフィルタ回路 60 で雑音が除去され、APD 70 へのバイアス電圧 60a として端子 65 に印加される。

【 0 0 2 9 】 同時に端子 28 の直流電圧は、アッテネータ 50 で減衰された電圧 50a が電圧比較器 30 の入力 32 に与えられ、他方の入力 31 に与えられている基準電圧 43a と比較され、電圧差に応じた電圧制御信号 30a が出力され、電圧可変回路 20A に与えられる。このような電圧制御が、電圧 50a と基準電圧 43a とが同じになるまで行われ、等しくなると、その時点の電圧制御信号 30a が継続

して電圧可変回路20Aに与えられ続ける。これによって、端子28から出力される電圧が温度補償をされながら最適増倍率に当たるように制御される。

【0030】以上のような電圧可変回路20Aの構成を採ることで、電圧制御信号30aの変化に応じて忠実に精度良くデジタル可変抵抗回路23で抵抗値を変えることができるので、端子29、28の電圧を精度良く変えることができる。したがって、回路100Aとしては、温度変動や電源電圧変動があっても、最適増倍率にするように精度良くバイアス電圧を制御することができる。しかも、集積化を可能にすることができ、部品点数を削減し、実装面積もさらに低減することができる。

【0031】図5は、APD用バイアス電圧制御回路100Bの実施例の回路構成であり、電圧可変回路20Bをトランジスタ24を使用して電流制御を行い、出力電圧を可変する回路構成を示す図である（第3実施例）。この図において、前述の図1の回路100と異なるところは、電圧可変回路20Bを具体的に詳細に示していることである。すなわち、本電圧可変回路20Bにおいて、高電圧発生回路10からの出力直流電圧が印加される入力端子12には直列に抵抗21が接続され、他端は端子29に接続され、端子29と端子28とは同じ電圧が印加されており、端子29には直列に抵抗26が接続され、他端はトランジスタ24のコレクタに接続され、ベースには電圧比較器30から電圧制御信号30aが与えられる。エミッタには抵抗25が接続され、抵抗25の他端は回路の最低電位端子27に接続されている。

【0032】電圧制御信号30aがトランジスタ24のベースに与えられると、電圧制御信号30aの大きさに応じて抵抗21、26および25に流れるバイパス電流21aの値を制御する。これによって抵抗21と抵抗26との間の接続点の端子29の電圧を電圧制御信号30aの大きさに応じて変えることができる。すなわち、電圧制御信号30aの電圧が大きくなると、バイパス電流21aの大きさが大きくなり、抵抗21における電圧降下が大きくなり、端子29の電圧は下げられる。また、逆に、電圧制御信号30aの電圧が小さくなると、バイパス電流21aの大きさが小さくなり、抵抗21における電圧降下が小さくなり端子29の電圧は高くなる。したがって、端子29の電圧の変化に応じて端子28の電圧の大きさも同じように変えられる。

【0033】このように電圧制御信号30aによってトランジスタ24がバイパス電流21aを制御することによって、電圧比較器30の入力32の電圧が、入力31に与えられている基準電圧43aと等しくなるように制御することができるようになる。

【0034】このため、温度変動や電源電圧変動があっても、端子28のバイアス電圧を最適増倍率にするように精度良くバイアス電圧を制御することができる。しかも、電圧可変回路20Bの構成が、抵抗21、25、26と、トランジスタ24とによって構成されるため、部品点数も少

なく集積化を容易に行うことができ、実装面積もさらに低減することができる。

【0035】図6は、APD用バイアス電圧制御回路100Cの実施例の回路構成であり、電流バイパス回路40Aを使用して出力電圧の設定および温度補償の設定を行う回路構成を示す図である（第4実施例）。この図において、電圧可変回路20Bは、前述の図5と同じトランジスタ24を用いてバイパス電流を制御する回路方式を採用している。さらに、前述と異なるところは、電圧比較器30の入力31には、この電圧比較器30の電源電圧範囲のたとえば、中間電位に当たる基準電圧31aを与えられるように、基準電圧発生回路33から発生する。電圧比較器30の他方の入力32には端子28に直列に接続されたアッテネータ50Aによって電圧降下された電圧50aが入力される。しかも、アッテネータ50Aには電流バイパス回路40Aが接続されている。

【0036】この電流バイパス回路40Aは、端子28に接続されているアッテネータ50Aから電流を引き込み、最適増倍率の電圧に当たるように電流の引き込みを行うと共に、APD 70のブレイクダウン電圧の温度傾斜分に当たる電流とを引き込むためのものである。そこで、具体的には、電流バイパス回路40Aの出力電圧設定回路41Aは、端子28の電圧をAPD 70に対して最適増倍率を得ることができる電圧に設定するため電流の引き込みを行い、抵抗21とアッテネータ50Aの抵抗値との分圧比によって端子28の電圧設定を行う。温度補償回路42Aは、APD 70のブレイクダウン電圧の温度傾斜分に当たる電流をアッテネータ50Aから引き込み、電圧比較器30の入力32の電圧を調整するように作用する。

【0037】次に、図6の回路100Cの動作を説明する。高電圧発生回路10から直流電圧が出力され、電圧可変回路20Bの抵抗21に与えられる。基準電圧発生回路33から電圧比較器30の入力31に基準電圧31aが入力される。出力電圧設定回路41Aによって、APD 70の最適増倍率による動作を実現する設定電圧分の電流が引き込まれる。さらに、APD 70のブレイクダウン電圧の温度傾斜分の電流を電圧比較器30の入力32点からバイパスする。

【0038】電圧比較器30では、アッテネータ50Aで電圧降下された電圧50aが入力32に与えられ、入力31に与えられている基準電圧31aと比較され、両方の電圧が常に等しくなるまで電圧制御信号30aが出力され端子28の出力電圧が可変制御される。すなわち、トランジスタ24は電圧制御信号30aによってバイパス電流21aが制御される。電流バイパス用のトランジスタ24によってバイパスされる電流と抵抗21との積により生じる電圧降下によって端子28の出力電圧を安定化するように動作する。

【0039】また、電流バイパス回路40Aは、APD 70の最適増倍率による動作を実現する設定電圧分の電流と、APD 70のブレイクダウン電圧の温度傾斜分の電流を電圧比較器30の入力32からバイパスするように動作するが、

入力31、入力32の電圧は電圧比較器30の電圧制御信号30aによって常に等しくなるように制御されているため、電流バイパス回路40Aによってバイパスされる電流と、アッテネータ50Aの抵抗値と抵抗21との分圧抵抗との積によって生じる電圧降下分だけ端子28の電圧を上昇させるように動作する。

【0040】そして、たとえば、電流バイパス回路40Aによってバイパスされる電流がゼロになる場合は、端子28の電圧は、電圧比較器30の入力32に与えられて基準電圧31aだけによって決定される。ロウパスフィルタ回路60によってAPD 70に印加されるバイアス電圧の雑音成分が除去され、さらにAPD 70の入力電流が増大した場合は、端子65の電圧上昇を防止するようにも動作する。

【0041】以上のような構成を採り、動作を行うことによって、前述の図5における加算回路43を削除することができ、回路規模をさらに小さくすることができる。出力電圧設定とAPD 70の温度補償とを行うために端子28から電流バイパス回路40Aに電流を引き込むように構成したので、電圧比較器30において発生するオフセットや図5における加算回路43において発生するオフセットに起因して発生する調整誤差を除外することが可能となり、調整精度を飛躍的に向上させることができる。なお、電圧可変回路20Bを、図4の電圧可変回路20Aに代えるように構成してもよい。

【0042】図7は、図6のAPD用バイアス電圧制御回路100Cの実施例の回路構成における出力電圧設定回路41Aの具体的な回路構成を示す図である（第5実施例）。この図において、出力電圧設定回路41Aは、端子28の電圧を設定するために、アッテネータ50Aを通じて電圧比較器30の入力32に入力されている電流をバイパスするために電流を引き込みトランジスタ412のコレクタに引き込む。ベースには基準電圧発生回路411からトランジスタ412を動作させるための電圧が加えられている。エミッタには可変抵抗器413が接続され、他端は回路の最低電位端子414に接続されている。

【0043】出力電圧設定回路41Aによってバイパスされる電流は可変抵抗器413によって設定され、電流バイパス用のトランジスタ412のコレクタ側の抵抗（アッテネータ50Aの抵抗値RLと抵抗21との分圧抵抗）とバイパス電流との積によって生じる電圧降下分だけ端子28の電圧を上昇させるように動作する。なお、その他の温度補償の動作や全体的な動作は、前述の図6の説明と同様である。

【0044】出力電圧設定回路41Aの構成を図7のようにしたので、回路構成が非常に簡単で、部品点数も少ないので回路を小型にすることができ、集積化も容易にできるようになる。なお、電圧可変回路20Bを図4の電圧可変回路20Aに置き換えることもよい。

【0045】図8は、図6のAPD用バイアス電圧制御回路100Cの実施例の回路構成における温度補償回路42Aの

具体的な回路構成を示す図である（第6実施例）。この図において、温度補償回路42Aは、APD 70のブレイクダウン電圧の温度傾斜分に対応する電流を電圧比較器30の入力32からバイパスして電流を引き込む。引き込む電流は、トランジスタ422のコレクタに吸い込まれる。ベースには温度センサ421が接続されている。エミッタには可変抵抗423が接続され、他端は回路の最低電位端子424に接続されている。

【0046】この温度補償回路42Aによってバイパスされる電流は、可変抵抗423によって可変され、トランジスタ422のコレクタ側の抵抗（アッテネータ50Aの抵抗値RLと抵抗21との分圧抵抗）とバイパス電流との積によって生じる電圧降下分だけ端子28の電圧を上昇させるように動作する。

【0047】この温度センサ421は、周囲温度を検出し対応する電圧を出力しベースに与える。温度センサ421は、その出力電圧に任意の温度係数を持つ素子であり、トランジスタ422のコレクタ側の抵抗（アッテネータ50Aの抵抗値RLと抵抗21との分圧抵抗）と、エミッタ側の抵抗（可変抵抗423と、エミッタとベースとの間の接合部の温度変化に対する抵抗値の変化を表す微分抵抗と、エミッタ抵抗との和）とが等しい場合、すなわち、トランジスタ422とコレクタ抵抗とエミッタ抵抗とによって構成される増幅回路系統の利得がゼロになる場合、温度センサ421が持つ出力電圧の温度係数はそのまま端子28の温度係数として現れる。

【0048】また、トランジスタ422とコレクタ抵抗とエミッタ抵抗とによって構成される増幅回路系統が利得を持つ場合、温度センサ421が持つ出力電圧の温度係数は利得倍されて端子28の温度係数として現れる。さらに、トランジスタ422とコレクタ抵抗とエミッタ抵抗とによって構成される増幅回路系統がマイナス利得を持つ場合、温度センサ421が持つ出力電圧の温度係数はマイナス利得倍されて端子28の温度係数として現れる。

【0049】以上のように、APD 70の温度傾斜の設定を温度センサ421が検出した温度に対応する出力電圧によってトランジスタを動作させバイパス電流を制御するように構成したので、非常に簡単な回路構成で実現することができる。したがって、小さい回路規模で実現することができる。なお、電圧可変回路20Bを図4の電圧可変回路20Aに置き換えてもよい。

【0050】図9は、APD用バイアス電圧制御回路100Dの実施例の回路構成であり、図7の出力電圧設定回路41Aおよび図8の温度補償回路42Aを使用した回路構成を示す図である（第7実施例）。この図において、高電圧発生回路10から直流電圧が抵抗21に印加され、基準電圧31aが電圧比較器30の入力31に与えられると、出力電圧設定回路41Aは、APD 70の最適増倍率を設定する電流を電圧比較器30の入力32からバイパスして電流を引き込む。電圧比較器30は、入力32に与えられているアッテネ

ータ50A の出力電圧50a と基準電圧30a とを比較し、両方の入力31、32の電圧が等しくなるように端子28の出力電圧を可変するように動作する。

【0051】電流バイパス用のトランジスタ24、抵抗25、26は、電圧比較器30から出力される電圧制御信号30aによって電流バイパス量が制御される。トランジスタ24によってバイパスされる電流と抵抗21との積によって生じる電圧降下によって端子29、28の出力電圧を安定化させるように動作する。また、出力電圧設定回路41Aは、APD 70の最適増倍率で動作することを実現する設定電圧分の電流を電圧比較器30の入力32点からバイパスするように動作するが、入力31と入力32との電圧は、電圧比較器30が出力する電圧制御信号30aによって常に等しい電圧になるように制御されているため、出力電圧設定回路41Aによってバイパスされる電流は、可変抵抗413によって設定され、トランジスタ412のコレクタ側の抵抗(アッテネータ50Aの抵抗値RLと抵抗21との分圧抵抗)とバイパス電流との積によって生じる電圧降下分だけ端子29、28の電圧を上昇させるように動作する。たとえば、電流バイパス回路40Aによってバイパスされる電流がゼロの場合は、端子28の電圧は電圧比較器30に与えられている基準電圧31a 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995 1000 1005 1010 1015 1020 1025 1030 1035 1040 1045 1050 1055 1060 1065 1070 1075 1080 1085 1090 1095 1100 1105 1110 1115 1120 1125 1130 1135 1140 1145 1150 1155 1160 1165 1170 1175 1180 1185 1190 1195 1200 1205 1210 1215 1220 1225 1230 1235 1240 1245 1250 1255 1260 1265 1270 1275 1280 1285 1290 1295 1300 1305 1310 1315 1320 1325 1330 1335 1340 1345 1350 1355 1360 1365 1370 1375 1380 1385 1390 1395 1400 1405 1410 1415 1420 1425 1430 1435 1440 1445 1450 1455 1460 1465 1470 1475 1480 1485 1490 1495 1500 1505 1510 1515 1520 1525 1530 1535 1540 1545 1550 1555 1560 1565 1570 1575 1580 1585 1590 1595 1600 1605 1610 1615 1620 1625 1630 1635 1640 1645 1650 1655 1660 1665 1670 1675 1680 1685 1690 1695 1700 1705 1710 1715 1720 1725 1730 1735 1740 1745 1750 1755 1760 1765 1770 1775 1780 1785 1790 1795 1800 1805 1810 1815 1820 1825 1830 1835 1840 1845 1850 1855 1860 1865 1870 1875 1880 1885 1890 1895 1900 1905 1910 1915 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020 2025 2030 2035 2040 2045 2050 2055 2060 2065 2070 2075 2080 2085 2090 2095 2100 2105 2110 2115 2120 2125 2130 2135 2140 2145 2150 2155 2160 2165 2170 2175 2180 2185 2190 2195 2200 2205 2210 2215 2220 2225 2230 2235 2240 2245 2250 2255 2260 2265 2270 2275 2280 2285 2290 2295 2300 2305 2310 2315 2320 2325 2330 2335 2340 2345 2350 2355 2360 2365 2370 2375 2380 2385 2390 2395 2400 2405 2410 2415 2420 2425 2430 2435 2440 2445 2450 2455 2460 2465 2470 2475 2480 2485 2490 2495 2500 2505 2510 2515 2520 2525 2530 2535 2540 2545 2550 2555 2560 2565 2570 2575 2580 2585 2590 2595 2600 2605 2610 2615 2620 2625 2630 2635 2640 2645 2650 2655 2660 2665 2670 2675 2680 2685 2690 2695 2700 2705 2710 2715 2720 2725 2730 2735 2740 2745 2750 2755 2760 2765 2770 2775 2780 2785 2790 2795 2800 2805 2810 2815 2820 2825 2830 2835 2840 2845 2850 2855 2860 2865 2870 2875 2880 2885 2890 2895 2900 2905 2910 2915 2920 2925 2930 2935 2940 2945 2950 2955 2960 2965 2970 2975 2980 2985 2990 2995 3000 3005 3010 3015 3020 3025 3030 3035 3040 3045 3050 3055 3060 3065 3070 3075 3080 3085 3090 3095 3100 3105 3110 3115 3120 3125 3130 3135 3140 3145 3150 3155 3160 3165 3170 3175 3180 3185 3190 3195 3200 3205 3210 3215 3220 3225 3230 3235 3240 3245 3250 3255 3260 3265 3270 3275 3280 3285 3290 3295 3300 3305 3310 3315 3320 3325 3330 3335 3340 3345 3350 3355 3360 3365 3370 3375 3380 3385 3390 3395 3400 3405 3410 3415 3420 3425 3430 3435 3440 3445 3450 3455 3460 3465 3470 3475 3480 3485 3490 3495 3500 3505 3510 3515 3520 3525 3530 3535 3540 3545 3550 3555 3560 3565 3570 3575 3580 3585 3590 3595 3600 3605 3610 3615 3620 3625 3630 3635 3640 3645 3650 3655 3660 3665 3670 3675 3680 3685 3690 3695 3700 3705 3710 3715 3720 3725 3730 3735 3740 3745 3750 3755 3760 3765 3770 3775 3780 3785 3790 3795 3800 3805 3810 3815 3820 3825 3830 3835 3840 3845 3850 3855 3860 3865 3870 3875 3880 3885 3890 3895 3900 3905 3910 3915 3920 3925 3930 3935 3940 3945 3950 3955 3960 3965 3970 3975 3980 3985 3990 3995 4000 4005 4010 4015 4020 4025 4030 4035 4040 4045 4050 4055 4060 4065 4070 4075 4080 4085 4090 4095 4100 4105 4110 4115 4120 4125 4130 4135 4140 4145 4150 4155 4160 4165 4170 4175 4180 4185 4190 4195 4200 4205 4210 4215 4220 4225 4230 4235 4240 4245 4250 4255 4260 4265 4270 4275 4280 4285 4290 4295 4300 4305 4310 4315 4320 4325 4330 4335 4340 4345 4350 4355 4360 4365 4370 4375 4380 4385 4390 4395 4400 4405 4410 4415 4420 4425 4430 4435 4440 4445 4450 4455 4460 4465 4470 4475 4480 4485 4490 4495 4500 4505 4510 4515 4520 4525 4530 4535 4540 4545 4550 4555 4560 4565 4570 4575 4580 4585 4590 4595 4600 4605 4610 4615 4620 4625 4630 4635 4640 4645 4650 4655 4660 4665 4670 4675 4680 4685 4690 4695 4700 4705 4710 4715 4720 4725 4730 4735 4740 4745 4750 4755 4760 4765 4770 4775 4780 4785 4790 4795 4800 4805 4810 4815 4820 4825 4830 4835 4840 4845 4850 4855 4860 4865 4870 4875 4880 4885 4890 4895 4900 4905 4910 4915 4920 4925 4930 4935 4940 4945 4950 4955 4960 4965 4970 4975 4980 4985 4990 4995 5000 5005 5010 5015 5020 5025 5030 5035 5040 5045 5050 5055 5060 5065 5070 5075 5080 5085 5090 5095 5100 5105 5110 5115 5120 5125 5130 5135 5140 5145 5150 5155 5160 5165 5170 5175 5180 5185 5190 5195 5200 5205 5210 5215 5220 5225 5230 5235 5240 5245 5250 5255 5260 5265 5270 5275 5280 5285 5290 5295 5300 5305 5310 5315 5320 5325 5330 5335 5340 5345 5350 5355 5360 5365 5370 5375 5380 5385 5390 5395 5400 5405 5410 5415 5420 5425 5430 5435 5440 5445 5450 5455 5460 5465 5470 5475 5480 5485 5490 5495 5500 5505 5510 5515 5520 5525 5530 5535 5540 5545 5550 5555 5560 5565 5570 5575 5580 5585 5590 5595 5600 5605 5610 5615 5620 5625 5630 5635 5640 5645 5650 5655 5660 5665 5670 5675 5680 5685 5690 5695 5700 5705 5710 5715 5720 5725 5730 5735 5740 5745 5750 5755 5760 5765 5770 5775 5780 5785 5790 5795 5800 5805 5810 5815 5820 5825 5830 5835 5840 5845 5850 5855 5860 5865 5870 5875 5880 5885 5890 5895 5900 5905 5910 5915 5920 5925 5930 5935 5940 5945 5950 5955 5960 5965 5970 5975 5980 5985 5990 5995 6000 6005 6010 6015 6020 6025 6030 6035 6040 6045 6050 6055 6060 6065 6070 6075 6080 6085 6090 6095 6100 6105 6110 6115 6120 6125 6130 6135 6140 6145 6150 6155 6160 6165 6170 6175 6180 6185 6190 6195 6200 6205 6210 6215 6220 6225 6230 6235 6240 6245 6250 6255 6260 6265 6270 6275 6280 6285 6290 6295 6300 6305 6310 6315 6320 6325 6330 6335 6340 6345 6350 6355 6360 6365 6370 6375 6380 6385 6390 6395 6400 6405 6410 6415 6420 6425 6430 6435 6440 6445 6450 6455 6460 6465 6470 6475 6480 6485 6490 6495 6500 6505 6510 6515 6520 6525 6530 6535 6540 6545 6550 6555 6560 6565 6570 6575 6580 6585 6590 6595 6600 6605 6610 6615 6620 6625 6630 6635 6640 6645 6650 6655 6660 6665 6670 6675 6680 6685 6690 6695 6700 6705 6710 6715 6720 6725 6730 6735 6740 6745 6750 6755 6760 6765 6770 6775 6780 6785 6790 6795 6800 6805 6810 6815 6820 6825 6830 6835 6840 6845 6850 6855 6860 6865 6870 6875 6880 6885 6890 6895 6900 6905 6910 6915 6920 6925 6930 6935 6940 6945 6950 6955 6960 6965 6970 6975 6980 6985 6990 6995 7000 7005 7010 7015 7020 7025 7030 7035 7040 7045 7050 7055 7060 7065 7070 7075 7080 7085 7090 7095 7100 7105 7110 7115 7120 7125 7130 7135 7140 7145 7150 7155 7160 7165 7170 7175 7180 7185 7190 7195 7200 7205 7210 7215 7220 7225 7230 7235 7240 7245 7250 7255 7260 7265 7270 7275 7280 7285 7290 7295 7300 7305 7310 7315 7320 7325 7330 7335 7340 7345 7350 7355 7360 7365 7370 7375 7380 7385 7390 7395 7400 7405 7410 7415 7420 7425 7430 7435 7440 7445 7450 7455 7460 7465 7470 7475 7480 7485 7490 7495 7500 7505 7510 7515 7520 7525 7530 7535 7540 7545 7550 7555 7560 7565 7570 7575 7580 7585 7590 7595 7600 7605 7610 7615 7620 7625 7630 7635 7640 7645 7650 7655 7660 7665 7670 7675 7680 7685 7690 7695 7700 7705 7710 7715 7720 7725 7730 7735 7740 7745 7750 7755 7760 7765 7770 7775 7780 7785 7790 7795 7800 7805 7810 7815 7820 7825 7830 7835 7840 7845 7850 7855 7860 7865 7870 7875 7880 7885 7890 7895 7900 7905 7910 7915 7920 7925 7930 7935 7940 7945 7950 7955 7960 7965 7970 7975 7980 7985 7990 7995 8000 8005 8010 8015 8020 8025 8030 8035 8040 8045 8050 8055 8060 8065 8070 8075 8080 8085 8090 8095 8100 8105 8110 8115 8120 8125 8130 8135 8140 8145 8150 8155 8160 8165 8170 8175 8180 8185 8190 8195 8200 8205 8210 8215 8220 8225 8230 8235 8240 8245 8250 8255 8260 8265 8270 8275 8280 8285 8290 8295 8300 8305 8310 8315 8320 8325 8330 8335 8340 8345 8350 8355 8360 8365 8370 8375 8380 8385 8390 8395 8400 8405 8410 8415 8420 8425 8430 8435 8440 8445 8450 8455 8460 8465 8470 8475 8480 8485 8490 8495 8500 8505 8510 8515 8520 8525 8530 8535 8540 8545 8550 8555 8560 8565 8570 8575 8580 8585 8590 8595 8600 8605 8610 8615 8620 8625 8630 8635 8640 8645 8650 8655 8660 8665 8670 8675 8680 8685 8690 8695 8700 8705 8710 8715 8720 8725 8730 8735 8740 8745 8750 8755 8760 8765 8770 8775 8780 8785 8790 8795 8800 8805 8810 8815 8820 8825 8830 8835 8840 8845 8850 8855 8860 8865 8870 8875 8880 8885 8890 8895 8900 8905 8910 8915 8920 8925 8930 8935 8940 8945 8950 8955 8960 8965 8970 8975 8980 8985 8990 8995 9000 9005 9010 9015 9020 9025 9030 9035 9040 9045 9050 9055 9060 9065 9070 9075 9080 9085 9090 9095 9100 9105 9110 9115 9120 9125 9130 9135 9140 9145 9150 9155 9160 9165 9170 9175 9180 9185 9190 9195 9200 9205 9210 9215 9220 9225 9230 9235 9240 9245 9250 9255 9260 9265 9270 9275 9280 9285 9290 9295 9300 9305 9310 9315 9320 9325 9330 9335 9340 9345 9350 9355 9360 9365 9370 9375 9380 9385 9390 9395 9400 9405 9410 9415 9420 9425 9430 9435 9440 9445 9450 9455 9460 9465 9470 9475 9480 9485 9490 9495 9500 9505 9510 9515 9520 9525 9530 9535 9540 9545 9550 9555 9560 9565 9570 9575 9580 9585 9590 9595 9600 9605 9610 9615 9620 9625 9630 9635 9640 9645 9650 9655 9660 9665 9670 9675 9680 9685 9690 9695 9700 9705 9710 9715 9720 9725 9730 9735 9740 9745 9750 9755 9760 9765 9770 9775 9780 9785 9790 9795 9800 9805 9810 9815 9820 9825 9830 9835 9840 9845 9850 9855 9860 9865 9870 9875 9880 9885 9890 9895 9900 9905 9910 9915 9920 9925 9930 9935 9940 9945 9950 9955 9960 9965 9970 9975 9980 9985 9990 9995 10000 10005 10010 10015 10020 10025 10030 10035 10040 10045 10050 10055 10060 10065 10070 10075 10080 10085 10090 10095 10100 10105 10110 10115 10120 10125 10130 10135 10140 10145 10150 10155 10160 10165 10170 10175 10180 10185 10190 10195 10200 10205 10210 10215 10220 10225 10230 10235 10240 10245 10250 10255 10260 10265 10270 10275 10280 10285 10290 10295 10300 10305 10310 10315 10320 10325 10330 10335 10340 10345 10350 10355 10360 10365 10370 10375 10380 10385 10390 10395 10400 10405 10410 10415 10420 10425 10430 10435 10440 10445 10450 10455 10460 10465 10470 10475 10480 10485 10490 10495 10500 10505 10510 10515 10520 10525 10530 10535 10540 10545 10550 10555 10560 10565 10570 10575 10580 10585 10590 10595 10600 10605 10610 10615 10620 10625 10630 10635 10640 10645 10650 10655 10660 10665 10670 10675 10680 10685 10690 10695 10700 10705 10710 10715 10720 10725 10730 10735 10740 10745 10750 10755 10760 10765 10770 10775 10780 10785 10790 10795 10800 10805 10810 10815 10820 10825 10830 10835 10840 10845 10850 10855 10860 10865 10870 10875 10880 10885 10890 10895 10900 10905 10910 10915 10920 10925 10930 10935 10940 10945 10950 10955 10960 10965 10970 10975 10980 10985 10990 10995 11000 11005 11010 11015 11020 11025 11030 11035 11040 11045 11050 11055 11060 11065 11070 11075 11080 11085 11090 11095 11100 11105 11110 11115 11120 11125 11130 11135 11140 11145 11150 11155 11160 11165 11170 11175 11180 11185 11190 11195 11200 11205 11210 11215 11220 11225 11230 11235 11240 11245 11250 11255 11260 11265 11270 11275 11280 11285 11290 11295 11300 11305 11310 11315 11320 11325 11330 11335 11340 11345 11350 11355 11360 11365 11370 11375 11380 11385 11390 11395 11400 11405 11410 11415 11420 11425 11430 11435 11440 11445 11450 11455 11460 11465 11470 11475 11480 11485 11490 11495 11500 11505 11510 11515 11520 11525 11530 11535 11540 11545 11550 11555 11560 11565 11570 11575 11580 11585 11590 11595 11600 11605 11610 11615 11620 11625 11630 11635 11640 11645 11650 11655 11660 11665 11670 11675 11680 11685 11690 11695 11700 11705 11710 11715

力するために温度補償回路42A に流れ込むバイパス電流をゼロにする。このバイパス電流をゼロにする方法としては、トランジスタ422 のベース電位をスイッチ425 によって回路の最低電位426 に短絡することが望ましい。このときの端子28の設定電圧をHV1 とする。

【0060】出力電圧設定回路41A は、APD 70の最適増倍率を実現する設定電圧分の電流を電圧比較器30の入力32点からバイパスするように動作するが、入力31と入力32の電圧は、電圧比較器30が出力する電圧制御信号30a によって常に等しい電圧になるように制御されているため、出力電圧設定回路41A によってバイパスされる電流は、可変抵抗413 によって設定され、トランジスタ412 のコレクタ側の抵抗（アッテネータ50A の抵抗値RL と抵抗21との分圧抵抗）と、バイパス電流との積によって生じる電圧降下分だけ端子28の電圧を上昇させるように動作する。

【0061】ステップS40 においては、温度補償回路42A に流れ込むバイパス電流をオンにする。回路の最低電位端子424 に短絡したトランジスタ422 のベース電位を解放する。ステップS50 においては、可変抵抗423 によって予め測定したAPD 70のブレイクダウン電圧の温度傾斜を端子28に与えるための設定を行う（温度傾斜の設定）。温度補償回路42A は、APD 70のブレイクダウン電圧の温度傾斜分の電流を電圧比較器30が出力する電圧制御信号30a によって常に等しい電圧になるように制御されているため、温度補償回路42A によってバイパスされる電流は、可変抵抗423 によって可変され、トランジスタ422 のコレクタ側の抵抗とバイパス電流との積によって発生する電圧降下分だけ端子28の電圧を上昇させるように動作する。

【0062】ここで、温度センサ421 は、出力電圧に任意の温度係数を持つ素子であるので、トランジスタ422 のコレクタ側の抵抗とエミッタ側の抵抗とが等しい場合、すなわち、トランジスタ422 とコレクタ抵抗と可変抵抗423 とによって構成される増幅系統の利得がゼロの場合、温度センサ421 が持つ出力電圧の温度係数はそのまま端子28の電圧に対する温度係数として現れる。一方、トランジスタ422 とコレクタ抵抗と可変抵抗423 とによって構成される増幅系統が利得を持つ場合、温度センサ421 が持つ出力電圧の温度係数は利得倍されて端子28の電圧に対する温度係数として現れる。

【0063】ここでさらに詳細に説明する。温度センサ421 の出力電圧をVT0 とし、出力電圧の温度傾斜をA（mV/℃）とした場合、トランジスタ422 とコレクタ抵抗と可変抵抗423 とによって構成される増幅回路系統がゼロ利得のときは、端子28に現れる電圧はHV1+VT0、温度係数はA（mV/℃）である。2倍の利得の場合は、端子28に現れる電圧はHV1+2xVT0、温度係数は2xA（mV/℃）である。同様に1/2利得のときは、端子28に現れる電圧はHV1+VT0/2、温度係数はA/2（mV/℃）である。

【0064】APD 70のブレイクダウン電圧の温度傾斜B（mV/℃）は、予め測定されているので、端子28に現れる電圧値を、他端が回路の最低電位端子428 に接続されている電圧計427 で測定し、HV1+(B/A)xVT0 となるように、可変抵抗423 を設定することによって端子28の電圧の特性に温度傾斜を持たせることができる。次に、ステップS60 において、可変抵抗413 によって端子65の設定電圧を予め測定したAPD 70の最適増倍率に当たる電圧に設定することで調整を完了することができる。

【0065】以上のような回路調整方法を行うことで、最適増倍率に設定することと、温度補償のための設定とを調整誤差が生じないように、非常に精度良く調整することができる。なお、出力電圧設定回路41A においては、可変抵抗413 を可変することでバイパス電流を制御し端子28の電圧を設定したが、可変抵抗を固定抵抗としトランジスタ412 のベースに与える電圧を可変して設定することでもよい。また、電圧比較器30は簡略化して図示しているが、実際には制御ループ内に帯域制限要素を配置するとよい。

【0066】

【発明の効果】以上述べたように本発明は、入力端子に与えられる入力直流電圧を電圧制御信号に応じた電圧に可変制御し出力する電圧可変手段を含み、この出力電圧をAPDに印加するバイアス電圧として制御し出力端子から出力する回路において、出力端子から第1の抵抗を介して電流を引き込む制御を行い、出力端子の電圧を所定の電圧に設定し、APD の逆方向の降伏電圧の温度傾斜に当たる電流を引き込み、所定の基準電圧と出力端子から抵抗を介して与えられる電圧とが等しくなるように電圧制御信号を生成し電圧可変手段に対して与えるように構成することで、APD に対して常に最適増倍率に対応するバイアス電圧になるように精度良く設定することができ電源電圧変動の影響を受けることなく、ブレイクダウン電圧の温度傾斜も設定しているので温度補償も同時に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のアバランシェフォトダイオード(APD)用バイアス電圧制御回路の実施例（第1実施例）の概略の回路構成図である。

【図2】一般的なAPD のバイアス電圧に対する増倍率の特性と、温度の変動に対する増倍率の変化を表す特性図である。

【図3】一般的なAPD の温度変化に対するブレイクダウン電圧の変化を表す図である。

【図4】APD 用バイアス電圧制御回路の実施例の回路構成であり、電圧可変回路を具体的にはデジタル可変抵抗器を使用して電圧可変する回路構成（第2実施例）を示す図である。

【図5】APD 用バイアス電圧制御回路の実施例の回路構成であり、電圧可変回路をトランジスタを使用して電流

制御を行い出力電圧を可変する回路構成（第3実施例）を示す図である。

【図6】APD用バイアス電圧制御回路の実施例の回路構成であり、電流バイパス回路を使用して出力電圧の設定および温度補償の設定を行う回路構成（第4実施例）を示す図である。

【図7】図6のAPD用バイアス電圧制御回路の実施例の回路構成における出力電圧設定回路の具体的な回路構成（第5実施例）を示す図である。

【図8】図6のAPD用バイアス電圧制御回路の実施例の回路構成における温度補償回路の具体的な回路構成（第6実施例）を示す図である。

【図9】APD用バイアス電圧制御回路の実施例の回路構成であり、図7の出力電圧設定回路41Aおよび図8の温度補償回路を使用した回路構成（第7実施例）を示す図

である。

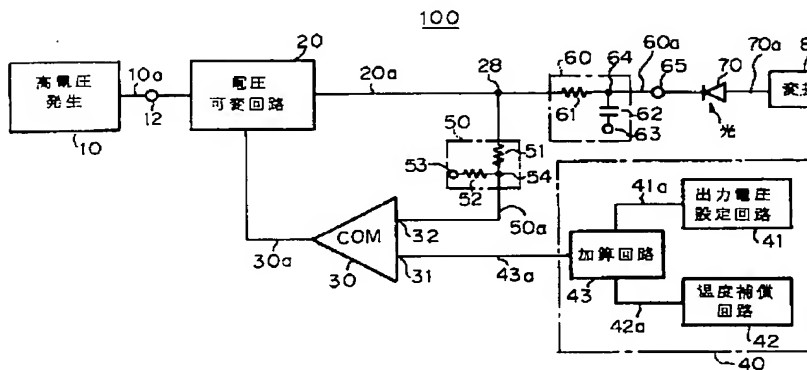
【図10】APD用バイアス電圧制御回路の実施例の回路構成の調整を行うための調整工程を示す図である。

【図11】図10の調整工程を説明するための回路調整系統図である。

【符号の説明】

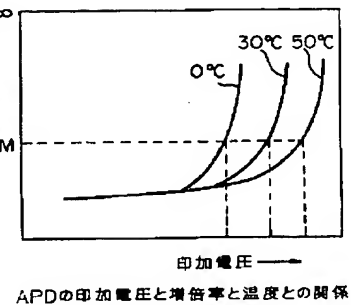
- 10 高電圧発生回路
- 20 電圧可変回路
- 30 電圧比較器
- 40 基準電圧発生回路
- 41 出力電圧設定回路
- 42 温度補償回路
- 70 アバランシェフォトダイオード(APD)
- 80 電流電圧変換増幅回路

【図1】

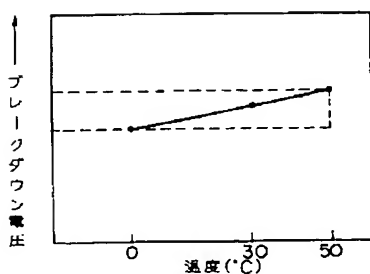


APD用電圧制御回路の第1実施例

【図2】

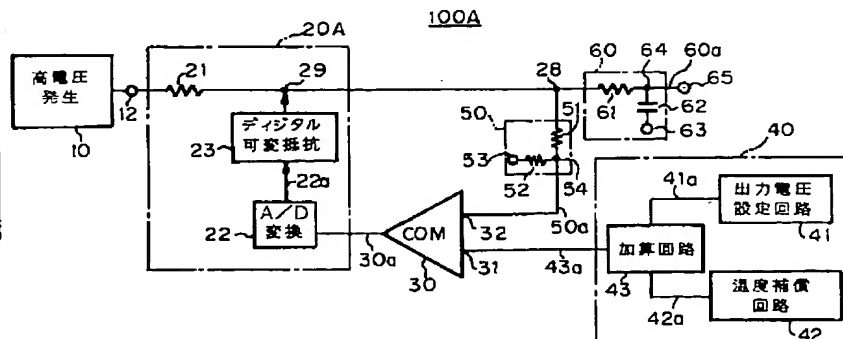


【図3】



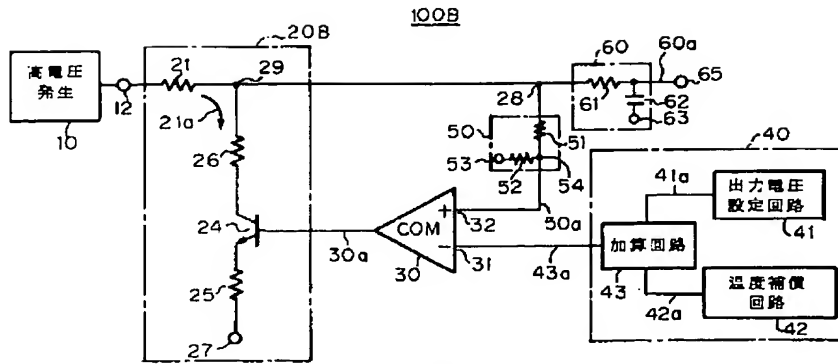
APDの温度補償の説明図

【図4】



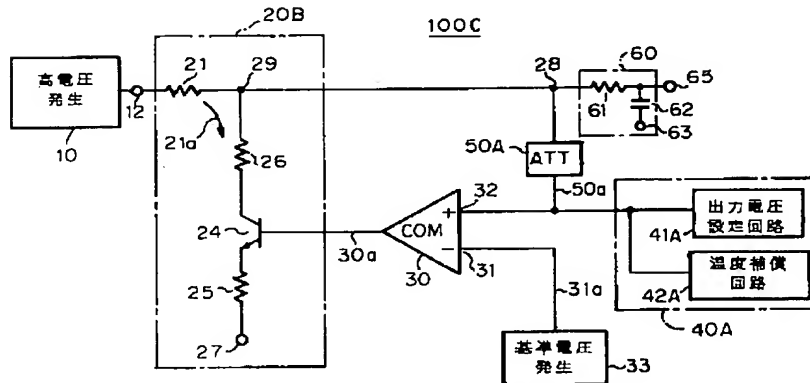
APD用電圧制御回路の第2実施例

【図5】



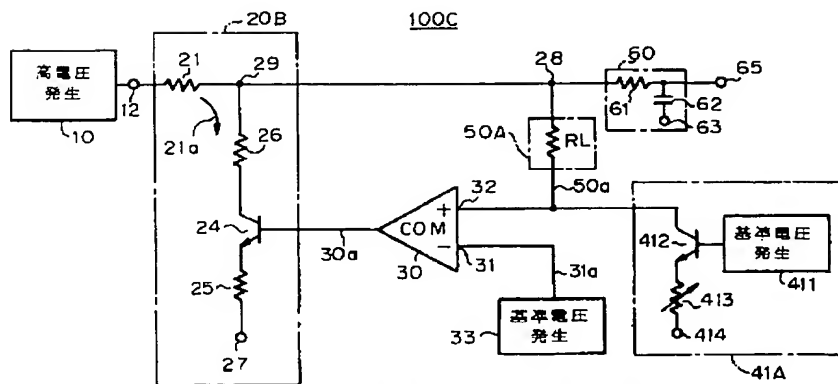
APD用電圧制御回路の第3実施例

【図6】



APD用電圧制御回路の第4実施例

【図7】



APD用電圧制御回路の第5実施例

【図10】

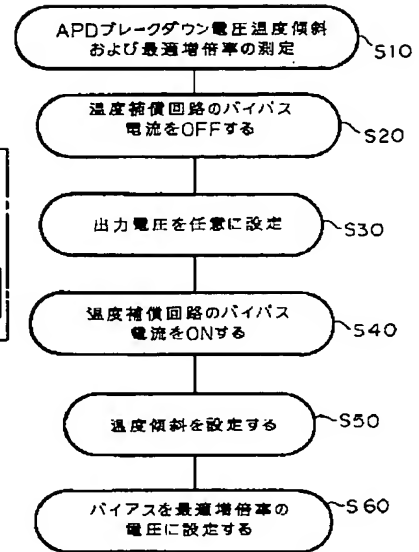
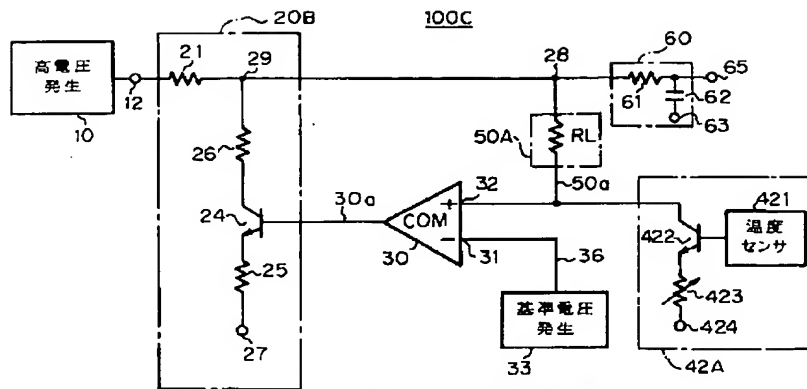


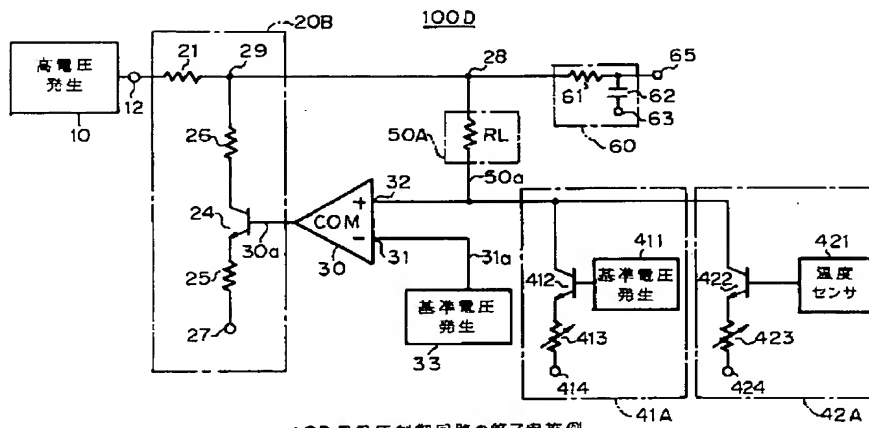
図9の調整工程

【図 8】



APD用電圧制御回路の第6実施例

【図 9】



APD用電圧制御回路の第7実施例

【図 11】

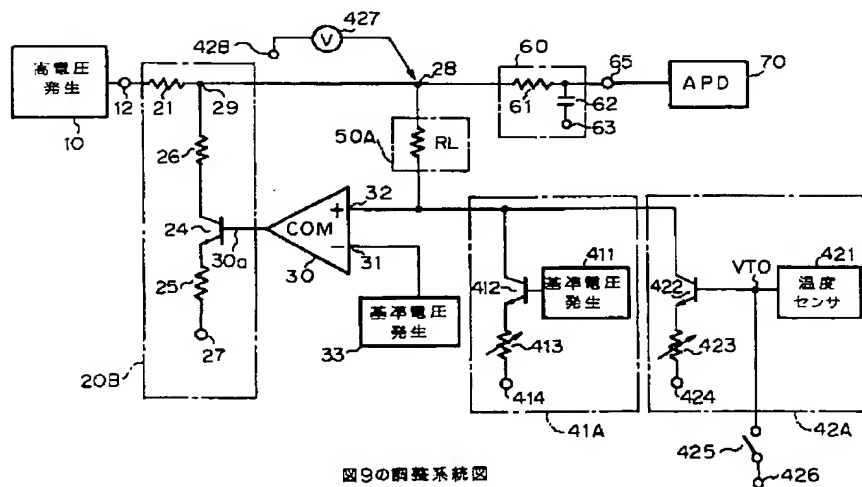


図9の調整系統図

フロントページの続き

(51) Int. Cl.⁴

識別記号

F 1

H 0 3 F 1/30

3/08

H 0 3 G 3/30